

环境湿度对非晶铟镓锌氧薄膜晶体管负偏压光照稳定性的影响

冯国锋, 章雯, 董承远

引用本文:

冯国锋, 章雯, 董承远. 环境湿度对非晶铟镓锌氧薄膜晶体管负偏压光照稳定性的影响[J]. *液晶与显示*, 2021, 36(5): 649–655.
FENG Guo-feng, ZHANG Wen, DONG Cheng-yuan. Influence of ambient humidity on the stability of negative bias illumination for amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(5): 649–655.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0305>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高可靠性Cu BCE a-IGZO TFTs的制作

Fabrication of high-reliability Cu BCE-structure IGZO TFTs

液晶与显示. 2018, 33(11): 925–930 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183311.0925>

非晶铟镓锌氧薄膜晶体管银/钛源漏电极的研究

Ag/Ti source/drain electrodes for amorphous InGaZnO thin film transistors

液晶与显示. 2016, 31(4): 375–379 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163104.0375>

氧分压对铟镓锌氧薄膜晶体管性能影响

Effect of oxygen partial pressure on the performance of indium gallium zinc oxide thin film transistor

液晶与显示. 2016, 31(6): 558–562 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163106.0558>

一种新型a-IGZO TFT集成栅极驱动电路设计

Novel integrated gate driver design based on a-IGZO TFTs

液晶与显示. 2018, 33(12): 996–1001 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183312.0996>

基于IGZO的5.5 in FHD In-cell触控FFS面板设计

Design of 5.5 in IGZO TFT FFS In-Cell touch panel

液晶与显示. 2017, 32(12): 943–948 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173212.0943>

文章编号:1007-2780(2021)05-0649-07

环境湿度对非晶铟镓锌氧薄膜晶体管 管负偏压光照稳定性的影响

冯国锋, 章 雯, 董承远*
(上海交通大学 电子工程系, 上海 200240)

摘要:为了探究环境湿度对非晶铟镓锌氧薄膜晶体管(a-IGZO TFT)的负偏压光照(NBIS)稳定性的影响,本文使用非密闭腔室进行不同波长光照射下以及不同相对湿度下的 TFT 负偏压测试。介绍了 a-IGZO TFT 的基本结构以及实验所用 I - V 测试系统。测试了不同波长光照条件下 a-IGZO TFT 的转移特性曲线以及相同波长光照射下不同相对湿度的转移特性曲线。实验结果表明:a-IGZO TFT 的转移特性曲线随着电压偏置时间的增加而发生负偏;随着光照波长的减小,器件阈值电压负漂越明显。随着相对湿度增加,a-IGZO TFT 的 NBIS 不稳定性逐渐降低,但其电学特性发生了严重的劣化。在相对湿度为 50%,光照波长为 400 nm 时,a-IGZO TFT 的 NBIS 电学特性最好,其在负偏压时间为 1 500 s 时的阈值电压偏移为 15 V。

关键词:非晶铟镓锌;薄膜晶体管;负偏压光照稳定性;湿度;氧空位

中图分类号:TN321+.5 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0305

Influence of ambient humidity on the stability of negative bias illumination for amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors

FENG Guo-feng, ZHANG Wen, DONG Cheng-yuan*

(*Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200240, China*)

Abstract: In order to explore the influence of environmental humidity on the stability of the negative bias illumination (NBIS) of amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors (a-IGZO TFT), the paper employed an unsealed chamber to carry on TFT's negative bias stress test under the illumination of lights of different wavelengths and different relative humidity. First, the basic structure of a-IGZO TFT and the I - V test system used in the experiment were introduced. Next, we tested the transfer characteristic curve of a-IGZO TFT under the illumination of light of different wavelengths and the transfer characteristic curve of different relative humidity under the illumination of the light of the same wavelength. The experimental results showed that the transfer characteristic

收稿日期:2020-11-13;修订日期:2021-01-15.

基金项目:国家自然科学基金(No.61474075)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.61474075)

* 通信联系人, E-mail:cydong@sjtu.edu.cn

curve of a-IGZO TFT shifted negatively as the voltage bias time increased. With the decrease of the wavelength of light, the device threshold voltage had a more significant negative drift. As the relative humidity increases, the NBIS instability of a-IGZO TFT gradually decreased but its electrical characteristics have seriously deteriorated. Environmental humidity has a significant impact on the stability of a-IGZO TFT's NBIS. When the relative humidity was 50% and the light wavelength was 400 nm, the threshold voltage shift of a-IGZO TFT reached 15 V while the negative voltage has stressed for 1 500 s, which showed the best performance under negative bias illumination stress.

Key words: amorphous InGaZnO; thin film transistors; negative bias illumination stress stability; humidity; oxygen vacancy

1 引 言

非晶铟镓锌氧薄膜晶体管(a-IGZO TFT)具有高载流子迁移率、低关态电流、低制造成本等优点^[1-5],因而有望成为下一代显示面板的驱动电子器件。然而,在a-IGZO TFT的实际应用中仍然存在比较严重的稳定性问题,即光照、气氛、偏压、湿度、温度等外界因素都会显著影响器件的电学性能^[6-11]。其中,负偏压光照稳定性(NBIS)尤为关键。文献[11]报导了在红、绿、蓝光照射下a-IGZO TFT的NBIS特性并提出带正电的氧空位和空穴的产生和迁移是影响器件负偏压光照稳定性的主要因素。众所周知,环境湿度对电子器件的电学特性一般会产生比较显著的影响。近来,本课题组针对湿度影响a-IGZO TFT的正偏压稳定性(PBS)的基本规律开展了研究^[12]。结果表明,随着湿度的增加,对于相同偏压时间 t 而言,器件阈值电压偏移量先增大后减小。这一现象的原因是当相对湿度较低时,主要发生的是背沟道中水协助氧气的吸附,会造成转移曲线正向偏移,阈值电压偏移量变大;当相对湿度较高时,主要发生背沟道对水汽的直接吸附,会造成转移特性曲线的负向偏移。另一方面,环境湿度也可能对a-IGZO TFT的NBIS稳定性产生影响,但相关规律尚无文献报道。

本文围绕不同光照和环境湿度条件针对a-IGZO TFT的NBIS稳定性展开了测试,并对其阈值电压的变化规律及相关机理进行了分析讨论,最终得出了在相对湿度逐渐增加时a-IGZO TFT的NBIS稳定性逐渐改善但器件电学特性出现了劣化趋势的结论。最后,我们结合能带理论分析,给出了上述规律的物理机理。

2 实 验

2.1 器件制备

本实验制备了倒置错排型(Inverted Staggered) a-IGZO TFT 器件(图 1)。基板是带有 300 nm 厚 SiO_2 的 p 型重掺杂硅片,其中 SiO_2 作为栅绝缘层,硅片作为栅极电极。利用金属掩模板遮挡磁控溅射沉积 50 nm 厚,元素 In, Ga, Zn, O 摩尔比为 1 : 1 : 1 : 4 的 a-IGZO 薄膜和厚度为 100 nm 的氧化铟锡(ITO)薄膜,分别作为有源层和源漏电极。a-IGZO 和 ITO 的成膜功率分别为 60 W 与 100 W,制备气压均为 400 MPa。为了尽量减少制备过程中有源层中氧空位的产生,我们在制备 a-IGZO 时向腔室中通入一定流量的氧气与氩气,所采用的 Ar, O 气体流量比为 30 : 1($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)。溅射 ITO 时的工作气体为氩气,流量为 30 mL/min。最后对器件进行 400 °C 下 30 min 退火处理^[13]。

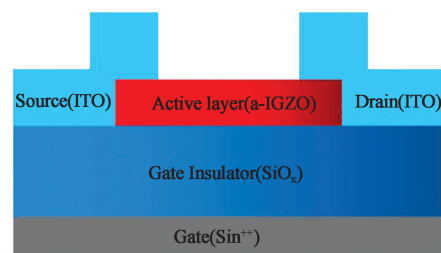


图 1 a-IGZO TFT 器件断面结构

Fig.1 Schematic cross section of a-IGZO TFTs

2.2 测试方法

测试用 TFT 器件沟道长宽比为 1 000 μm 和 250 μm 。采用 Keythley 2636 半导体测试仪测试器件的转移特性。测试过程中漏极电压设置为 10 V,

栅极电压测试范围是-20~40 V,每隔 0.5 V 测量一次漏极电流。为了实现湿度的变化,我们将氮气通入含水的瓶中再传入腔室,再通过调整氮气流量或者水瓶中水位高低来改变腔室湿度,如图 2 所示。我们用湿度计实时监测腔室中湿度变化。另外,在腔室中放置一根与外部高功率氙灯光源(LS-3000UV)连接的光纤。光源可以发出持续光照,并且其波长和光强都是可调节的。测试过程中整块器件能被光照到。最后提取转移曲线的阈值电压偏移量^[14]并比较不同光照以及湿度条件下器件的负偏压稳定性。

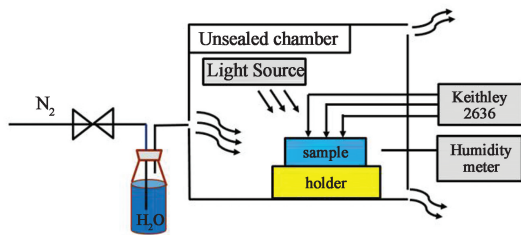


图 2 实验采用过的 I-V 测试系统

Fig. 2 I-V measurement system in this study

3 结果与讨论

首先选定 4 组波长不同的光照进行 NBIS 测试,其波长值分别为 450,420,400,380 nm。最大电压偏置时间为 1 500 s,偏置栅极电压设置为-20 V,相对湿度设置为 50%。

为了描述一定偏压时间下转移特性曲线与原始转移曲线的偏离程度,我们定义一个物理量:阈值电压偏移量:

$$\Delta V_{th} = V_{th}(0) - V_{th}(t), \quad (1)$$

其中: $V_{th}(t)$ 是偏压时间为 t 时的阈值电压, $V_{th}(0)$ 是未施加偏压时的阈值电压, ΔV_{th} 表示偏压时间为 t 时的阈值电压与未施加偏压时阈值电压的差值。在分析不同湿度对器件 NBIS 特性影响时,我们固定光照波长为 400 nm 并测试 5 个相对湿度——10%、30%、50%、70% 和 90% 环境下 a-IGZO TFT 的 NBIS 转移曲线。

3.1 a-IGZO TFT 的 NBIS 稳定性

从图 3 可以看出,随着 NBIS 时间的增大,器

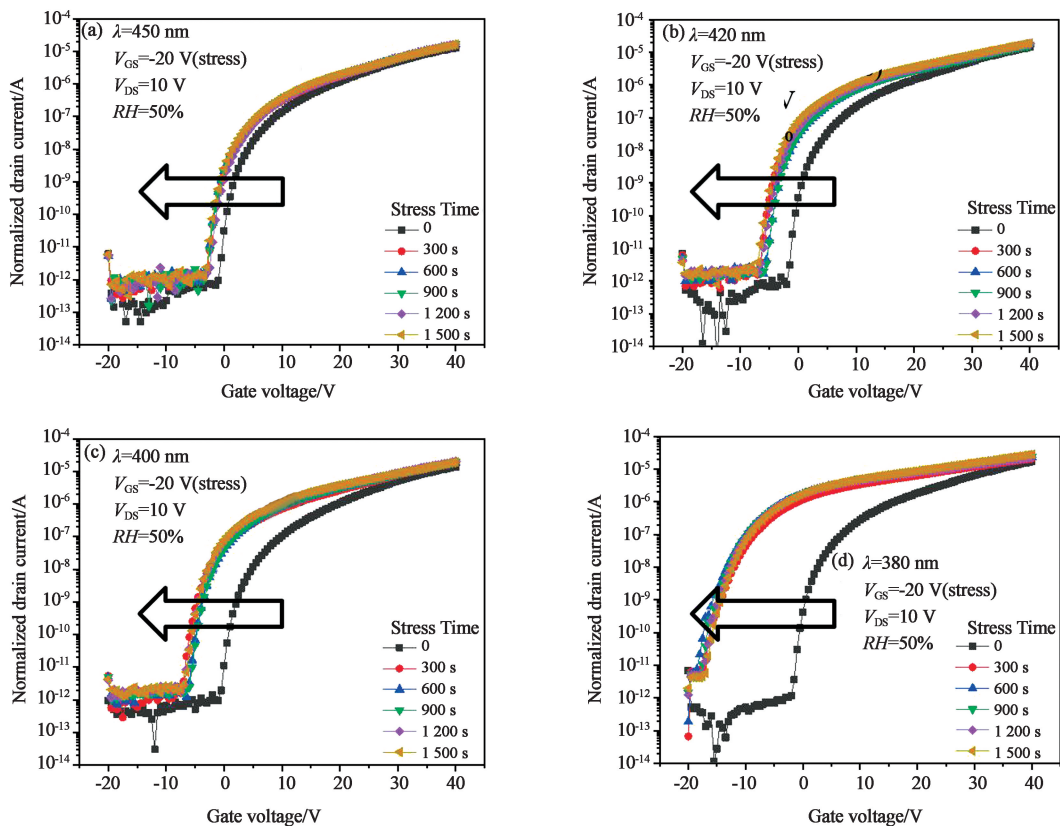


图 3 NBIS 测试下 a-IGZO TFT 的转移特性曲线,光照波长为:(a) 450 nm;(b) 420 nm;(c) 400 nm;(d) 380 nm。

Fig.3 Transfer curves of the a-IGZO TFTs under NBIS with various wavelengths:(a) 450 nm;(b) 420 nm;(c) 400 nm;(d) 380 nm.

件的 ΔV_{th} 越来越大;随着光照波长的减小, a-IGZO TFT 器件的负偏压光照稳定性越来越差。为了更清楚展示上述规律,我们总结了不同光照波长下器件的阈值电压偏移量与偏压时间之间的关系曲线,如图 4 所示。在 450 nm 光照条件下, a-IGZO 的 NBIS 阈值电压偏移小于 5 V;420 nm 光照条件下的转移曲线虽然较 450 nm 有较大的变化,但是其阈值电压最大偏移量也只有 6 V;但是在 400 nm 与 380 nm 的光照条件下, TFT 的 ΔV_{th} 均超过 8 V 和 15 V。

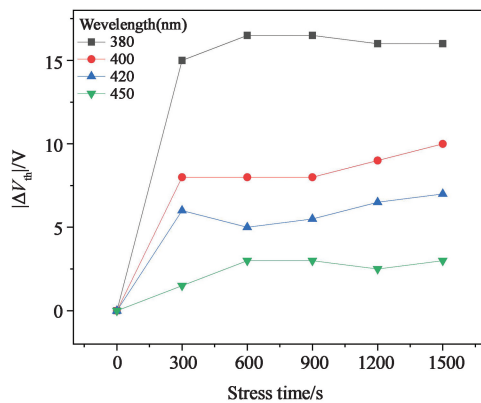


图 4 不同波长可见光照射下, 阈值电压偏移量随 NBIS 时间变化的曲线

Fig.4 Time dependence of the ΔV_{th} during the NBIS tests of a-IGZO TFTs under the illumination of lights of different wavelengths

从图 5 可以看出,无论哪种相对湿度, ΔV_{th} 都在 0~300 s 内迅速增加,在 300~1 500 s 内则增长缓慢。在不同相对湿度环境下器件的 ΔV_{th} 值区别非常明显。我们总结了不同相对湿度下器件的阈值电压偏移量与偏压时间之间的关系曲线,如图 6 所示。当相对湿度为 10% 时, TFT 转移特性曲线的 ΔV_{th} 最大,偏压 1 500 s 后可达到 22 V。

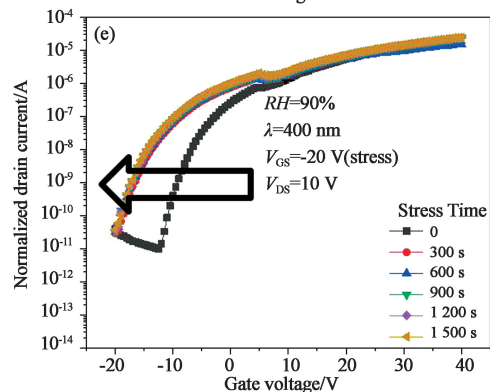
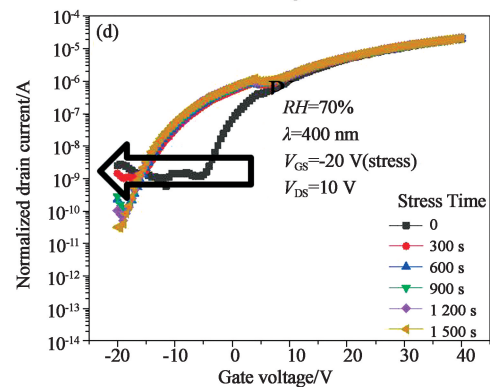
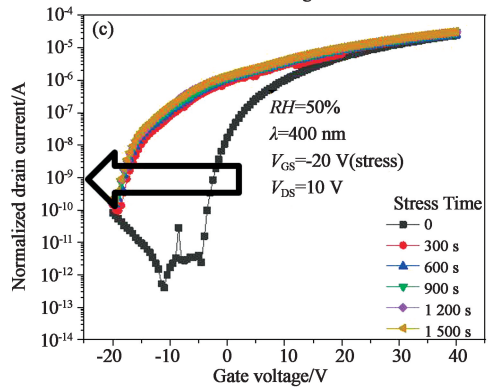
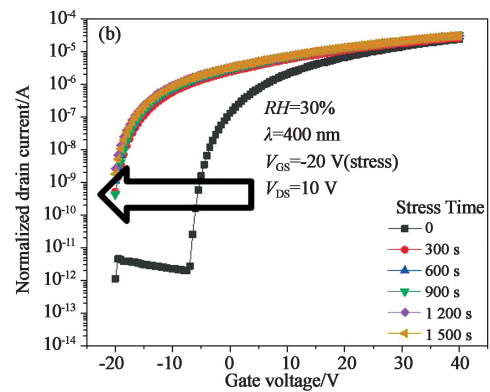
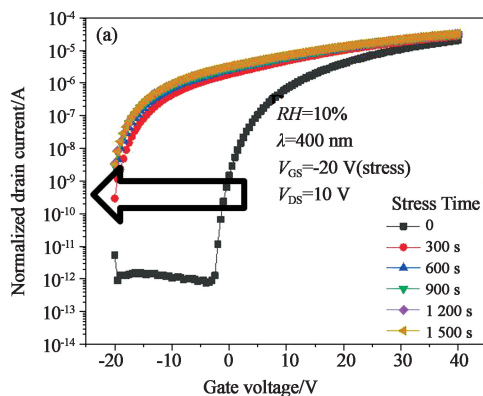


图 5 不同相对湿度环境下 a-IGZO TFT 的 NBIS 测试结果。(a)10%; (b)30%; (c)50%; (d)70%; (e)90%。

Fig.5 Transfer curves of a-IGZO TFT as a function of the NBIS time under RH of (a) 10%, (b) 30%, (c) 50%, (d) 70%, and (e) 90%.

而相对湿度为 30% 与 50% 环境下的 ΔV_{th} 则分别在 12 V 和 15 V 左右。当相对湿度达到 70% 甚至 90% 时, ΔV_{th} 则进一步下降到 7 V 和 6 V 附近。由此可以看出, 相对湿度的增加使 a-IGZO TFT 的 NBIS 不稳定性有所降低。但是当相对湿度为 70% 以及 90% 时, 转移特性曲线的电学特性出现了驼峰——一种电学特性劣化现象。

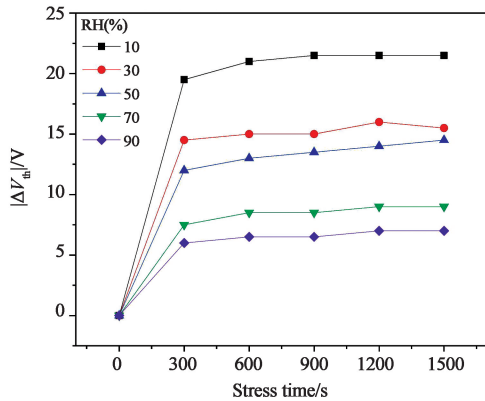
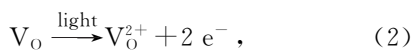


图 6 400 nm 光照条件、不同相对湿度变化下, 阈值电压偏移量随 NBIS 时间变化的曲线。

Fig.6 Time dependence of the ΔV_{th} during the NBIS tests of a-IGZO TFTs in different relative humidity under the illumination of light of 400 nm.

3.2 机理分析

如图 7(a) 所示, 当光照射到氧化物 TFT 器件时会在其有源层发生如下反应^[15]:



其中: V_O 是氧空位, V_O^{2+} 是带二价正电的氧空位, e^- 是电子。光照会激发氧空位电离产生带正电的氧空位和电子。照射光波长的减小除了会导致带正电的氧空位数量的增加, 还会导致氧空位电离产生的电子越过费米能级跃迁到导带上。除此以外, a-IGZO 有源层中的空穴以及带正电的氧空位会在负偏压的作用下向栅绝缘层处移动(图 7(a))。当电压撤除时, 栅绝缘层处的电离氧空位或空穴不会立即复原, 这些电荷在转移特性曲线测量时会对电场起到加强作用, 从而导致阈值电压负漂。从图 4 可以看出, 随着光照波长的减小, TFT 器件的 ΔV_{th} 越来越大。当光照波长逐渐从 450 nm 减小到 380 nm, TFT 的负偏压稳定性是越来越差的。其中 400 nm 与 380 nm 的 ΔV_{th} 明显增大, 这是因为 a-IGZO

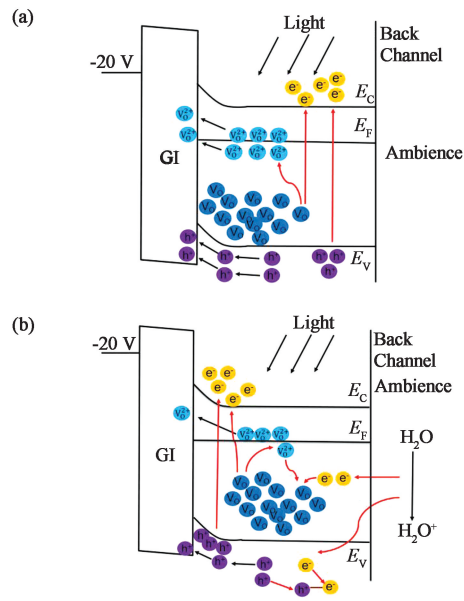


图 7 氧化物 TFT 在 NBIS 测试时的能带图。(a) 考虑光照波长因素; (b) 考虑相对湿度因素。

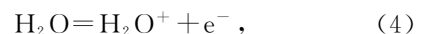
Fig.7 Energy band diagram of a-IGZO TFTs under NBIS considering. (a) Wavelength of light; (b) Relative humidity.

的禁带宽度是 3.05 eV, 而计算使价带中的电子跃迁到导带所需要的最小光子能量所对应的光照波长的公式为:

$$E = hc/\lambda, \quad (3)$$

其中: E 是光子的能量, h 是普朗克常数, c 是光速, λ 是光照波长。根据式(3)可计算出 a-IGZO 价带中电子跃迁到导带需要的最大光波波长是 406 nm, 因此 400 nm 和 380 nm 波长光照下会有大量电子从价带跃迁到导带, 产生电子空穴对, 从而使器件的 NBIS 特性变得非常不稳定(图 7(a))。

随着相对湿度的提高, a-IGZO TFT 的阈值电压偏移愈来愈小(图 6)。但是在高湿度的测试情况下也出现了器件电学特性劣化的现象。一方面, 由于相对湿度的提高, 腔室中的水汽与背沟道发生了反应, 水汽贡献出部分电子^[16-17], 其反应如公式(4)所示。



随着水汽贡献的电子在有源层中不断地积累, 这些电荷会与有源层中的 V_O^{2+} 和 h^+ 复合并生成 V_O 以及电子空穴对(图 7(b))。因此, 在负偏压下能够迁移到栅绝缘层的 V_O^{2+} 和 h^+ 数量便

会相对减少,从而会出现高湿度环境下 TFT 器件 ΔV_{th} 较小的现象。另一方面,在湿度较高的情况下,水汽分布在整个背沟道表面。背沟道表面的水汽分子极有可能加剧了带正电的氧空位从源极迁移到漏极的过程,从而出现驼峰现象^[18]。

4 结 论

本文研究了不同湿度下 a-IGZO TFT 负偏压光照稳定性的变化规律和相关机理。随着光照波长的减小,a-IGZO TFT 的 ΔV_{th} 增加。在不同

相对湿度环境下,环境水汽与背沟道发生反应并贡献出电子,这些电子与有源层中的 V_O^{2+} 和 h^+ 发生复合反应并生成 V_O 以及电子空穴对,从而使负偏压下有源层中向栅绝缘层处移动的 V_O^{2+} 和 h^+ 数量减少,栅绝缘层中正电荷对电场的屏蔽作用会减弱,从而使得 ΔV_{th} 负偏减弱。但是湿度的增加也会伴随着器件电学特性的劣化,湿度较高的情况下甚至会出现驼峰现象。在相对湿度为 50% 并且光照波长为 400 nm 时,a-IGZO TFT 的 NBIS 转移特性最好,其在负偏压时间为 1 500 s 时的阈值电压偏移为 15 V。

参 考 文 献:

- [1] NOMURA K, OHTA H, TAKAGI A, *et al.* Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Nature*, 2004, 432(7016): 488-492.
- [2] 陈龙龙,张建华,李喜峰,等.基于柔性 PI 基底的氧化物 IGZO TFT 器件工艺及特性研究[J].液晶与显示,2015,30(5):796-800.
CHEN L L, ZHANG J H, LI X F, *et al.* Process and properties of oxide IGZO TFT device based on flexible PI substrate [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(5): 796-800. (in Chinese)
- [3] KIM M, JEONG J H, LEE H J, *et al.* High mobility bottom gate InGaZnO thin film transistors with SiO_x etch stopper [J]. *Applied Physics Letters*, 2007, 90(21): 212114.
- [4] 孙明剑,董承远,林锡勳.薄膜晶体管平坦化层干法刻蚀工艺的研究[J].液晶与显示,2019,34(11):1055-1060.
SUN M J, DONG C Y, LIN S S. Dry etching for the planarization layer of thin film transistors [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(11): 1055-1060. (in Chinese)
- [5] 徐宏霞,邹忠飞,董承远.一种新型 a-IGZO TFT 集成栅极驱动电路设计[J].液晶与显示,2018,33(12):996-1001.
XU H X, ZOU Z F, DONG C Y. Novel integrated gate driver design based on a-IGZO TFTs [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(12): 996-1001. (in Chinese)
- [6] PARK S, CHO E N, YUN I. Instability of light illumination stress on amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2013, 21(8): 333-338.
- [7] LIU P T, CHOU Y T, TENG L F. Environment-dependent metastability of passivation-free indium zinc oxide thin film transistor after gate bias stress [J]. *Applied Physics Letters*, 2009, 95(23): 233504.
- [8] CHEN T C, CHANG T C, HSIEH T Y, *et al.* Investigating the degradation behavior caused by charge trapping effect under DC and AC gate-bias stress for InGaZnO thin film transistor [J]. *Applied Physics Letters*, 2011, 99(2): 022104.
- [9] XU J, WU Q, XU L, *et al.* Investigation on ambient degradation of amorphous InGaZnO thin film transistors in an unsealed chamber [J]. *International Display Workshop*, 2015, 1(15): 313-316.
- [10] CHOWDHURY M D H, MIGLIORATO P, JANG J. Temperature dependence of negative bias under illumination stress and recovery in amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors [J]. *Applied Physics Letters*, 2013, 102(14): 143506.
- [11] KIM W S, LEE Y H, CHO Y J, *et al.* Effect of wavelength and intensity of light on a-InGaZnO TFTs under negative bias illumination stress [J]. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2017, 6(1): Q6-Q9.
- [12] ZHOU Y, XU J, XIE H, *et al.* Moisture dominant electrical degradation of amorphous InGaZnO thin film transistors under positive bias stress [J]. *International Display Workshop*, 2017: 424-426.
- [13] 吴崎,许玲,董承远.非晶铟镓锌氧薄膜晶体管银/钛源漏电极的研究[J].液晶与显示,2016,31(4):375-379.
WU Q, XU L, DONG C Y. Ag/Ti source/drain electrodes for amorphous InGaZnO thin film transistors [J]. *Chi-*

- nese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(4): 375-379. (in Chinese)
- [14] SHI J F, DONG C Y, DAI W J, *et al.* The influence of RF power on the electrical properties of sputtered amorphous In-Ga-Zn-O thin films and devices [J]. *Journal of Semiconductors*, 2013, 34(8): 084003.
- [15] OH H, YOON S M, RYU M K, *et al.* Transition of dominant instability mechanism depending on negative gate bias under illumination in amorphous In-Ga-Zn-O thin film transistor [J]. *Applied Physics Letters*, 2011, 98(3): 033504.
- [16] XU J N, WU Q, XU L, *et al.* Ambient effect on thermal stability of amorphous InGaZnO thin film transistors [J]. *Solid-State Electronics*, 2016, 126: 170-174.
- [17] KIM S J, LEE S Y, LEE Y W, *et al.* Effect of charge trapping/detrapping on threshold voltage shift of IGZO TFTs under AC bias stress [J]. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 2012, 15(4): H108-H110.
- [18] CHO Y J, KIM W S, LEE Y H, *et al.* Effect of defect creation and migration on hump characteristics of a-InGaZnO thin film transistors under long-term drain bias stress with light illumination [J]. *Solid-State Electronics*, 2018, 144: 95-100.

作者简介:



冯国锋(1997—),男,江苏兴化人,硕士研究生,2018年于江苏大学获得学士学位,主要从事 a-IGZO TFT 负偏压环境稳定性机理的研究。E-mail: fgf1997@sjtu.edu.cn



董承远(1971—),男,辽宁沈阳人,博士,副教授,2003年于上海交通大学获得博士学位,主要从事薄膜电子器件与电路的研究。E-mail: cydong@sjtu.edu.cn